



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

**ESTUDI I MODELATGE DEL PROCÉS
DELS FILTRES DE SEGURETAT DELS
AEROPORTS**

Memòria del Treball de Fi de Grau en

Gestió Aeronàutica

realitzat per

Sònia Arizmendi Valdor

I dirigit per

Roman Buil Giné

Escola d'Enginyeria

Sabadell, Juliol de 2015

El firmant, **Roman Buil Giné**,
professor de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció per

Sònia Arizmendi Valdor

I per a que consti firma la present.

Sabadell, **Juliol de 2015**



Signat: Roman Buil Giné

AGRAÏMENTS

Sempre havia sigut molt crítica amb les pàgines d'agraïment, creient-les banals i fetes per obligació, fins que he sentit la necessitat de fer-ne jo una.

*Per la paciència, confiança, ànims, implicació, dedicació, professionalitat;
Per fer-me reconèixer el que significa ser un professor;
Perquè he après la importància de les segones oportunitats;*

Gràcies Roman.

FULL DE RESUM – TREBALL DE FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del projecte: Estudi i modelatge del procés dels filtres de seguretat dels aeroports	
Autor: Sònia Arizmendi Valdor	Data: Juliol de 2015
Tutor: Roman Buil Giné	
Titulació: Grau en Gestió Aeronàutica	
Paraules Clau: <ul style="list-style-type: none"> - <u>Català:</u> <i>Xarxes de Petri Acolorides, CPNTools, seguretat, filtre, control, aeroport, modelització.</i> - <u>Castellà:</u> <i>Redes de Petri Coloreadas, CPNTools, seguridad, filtro, control, aeropuerto, modelización.</i> - <u>Anglès:</u> <i>Coloured Petri Nets, CPNTools, safety, filter, control, airport, modeling.</i> 	
Resum del projecte: <ul style="list-style-type: none"> - <u>Català:</u> Realització d' un model que simuli el filtre de seguretat d'un aeroport amb el formalisme de xarxes de petri acolorides i el programa CPNTools, en el que es puguin variar el nombre de cintes i d'arcs del control de seguretat i analitzar les diferents solucions per extreure'n conclusions. - <u>Castellà:</u> Realización de un modelo que simule el filtro de seguridad de un aeropuerto con el formalismo de redes de petri coloreadas y el programa CPNTools, en el que se puedan variar el número de cintas y arcos del control de seguridad y analizar las diferentes soluciones para extraer conclusiones. - <u>Anglès:</u> Making a model that simulates a safety filter airport formalism of Petri nets CPNTools colorful program, which can vary the number of ribbons and bows security control and analyze different solutions to draw conclusions. 	

INDEX

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ	9
1.1. MOTIVACIÓ	9
1.2. OBJECTIUS DEL TREBALL	10
1.2.1. Escenari A.....	10
1.2.1.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos.....	11
1.2.1.2. Solucions	12
1.2.2. Escenari B.....	12
1.2.2.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos.....	13
1.2.2.2. Solucions	14
1.2.3. Escenari C.....	14
1.2.3.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos.....	15
1.2.3.2. Solucions	16
1.2.4. Desenllaç.....	16
1.3. PARTS INTERESSADES	17
1.4. ESTRUCTURA DEL TREBALL.....	17
CAPÍTOL 2: CONCEPTES BÀSICS	18
2.1. CONTROLS DE SEGURETAT	18
2.1.1. Procés.....	18
2.1.2. Funcionament intern.....	20
2.1.3. Modalitats estructurals.....	21
2.2. XARXES DE PETRI	22
2.2.2. Xarxes de Petri acolorides (CPN)	23
2.2.2. Xarxes de Petri Acolorides Temporitzades (Timed-CPN).....	25
2.2.3. Estat de l'art.....	27
2.2.3.1. CPNTools	27
CAPÍTOL 3: DESENVOLUPAMENT DEL MODEL	28
3.1. INTRODUCCIÓ	28
3.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS	28
3.3. DISSENY DEL MODEL.....	29
3.3.1. Definicions i Significats de cada element	29
3.3.1.1. Colors.....	29
3.3.1.2. Variables i Constants.....	30
3.3.1.3. Nodes Lloc	31
3.3.1.4. Transicions.....	32
3.3.1.5. Guardes	32
3.4. TREBALL DE CAMP	34
3.5. VALIDACIÓ	36
CAPÍTOL 4: ANÀLISI DE RESULTATS	38
4.1. INTRODUCCIÓ	38
4.2. TESTS REALITZATS.....	38
4.2.1. Test 1	38
4.2.2. Test 2	40
4.3.3. Test 3	42
4.3.4. Test 4	43
4.3.5. Test 5	45
4.3.6. Test 6	46

CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR.....	48
CONCLUSIONS.....	48
TREBALL FUTUR.....	49
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I ENLLAÇOS.....	50
ANNEXOS	51
ANNEX 1.....	51
ANNEX 2.....	54
ANNEX 3.....	65

INDEX FIGURES, IL·LUSTRACIONS I TAULES

Figura 1: Model 2 Cintes per Arc.....	21
Figura 2: Model 1 Cinta per Arc.....	21
Il·lustració 1: Productes prohibits en cabina.....	19
Il·lustració 2: Excepcions líquids	20
Il·lustració 5: Icono CPNTools.....	27
Il·lustració 6: Representació Filtre de Seguretat.....	28
Il·lustració 7: Carta dirigida a l'Aeroport de Barcelona	52
Il·lustració 8: Xarxa de Petri Acolorida	65
Taula 1: Escenari A – Catalogació dels objectius.....	11
Taula 2: Escenari A – Catalogació dels Riscos	12
Taula 3: Escenari B – Catalogació dels Objectius	13
Taula 4: Escenari B – Catalogació dels riscos	14
Taula 5: Escenari C – Catalogació dels Objectius	15
Taula 6: Escenari C – Catalogació dels Riscos.....	16
Taula 7 Parts interessades en el projecte.....	17
Taula 8: Definició de Colors.....	29
Taula 9: Definició de Variables	30
Taula 10: Valor i significat de les Constants del Model	30
Taula 11: Color i Significat dels Nodes lloc.....	31
Taula 12: Significat de les transicions.....	32
Taula 13: Significat de les guardes	32
Taula 14: Dades necessàries	33
Taula 15: Temps procés.....	34
Taula 16: Número de safates per passatger	34
Taula 17: Temps Posar Safata	35
Taula 18: Temps Revisió Passatger	35
Taula 19: Resultats dades necessàries	35
Taula 20: Dades Sistema Real.....	36

Taula 21: Validació Dades	36
Taula 22: Distribució Passatgers.....	37
Taula 23: Comparacions de Temps.....	37
Taula 24: Test 1	39
Taula 25: Test 1 II.....	39
Taula 26: Test 1 III.....	40
Taula 27: Test 2	40
Taula 28: Test 2 II.....	41
Taula 29: Test 2 III.....	41
Taula 30: Test 3	42
Taula 31: Test 3 II.....	42
Taula 32: Test 3 III.....	43
Taula 33: Test 4	43
Taula 34: Test 4 II.....	44
Taula 35: Test 4 III.....	44
Taula 36: Test 5	45
Taula 37: Test 5 II.....	45
Taula 38: Test 5 III.....	46
Taula 39: Test 6	46
Taula 40: Test 6 II.....	47
Taula 41: Resultats Simulació (Temps).....	54

LLISTAT D'ABREVIATURES I ACRÒNIMS

PN – Petri Net

CPN – Coloured Petri Net

XdP – Xarxa de Petri

XdPA – Xarxa de Petri Acolorida

Pax – Passatgers

Rx – Rajos X

ADM – Arc Detector de Metalls

AENA – Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

1.1. Motivació

Tots els que hem agafat alguna vegada un avió sabem que el control de seguretat és, possiblement, la molèstia més gran per la que hem de passar durant el viatge. Malgrat que al llarg dels anys s'ha intentat, des de tots els aeroports, minimitzar el temps del procés pel client, les molèsties han augmentat degut a les noves mesures de seguretat dels aeroports a arrel de l'atemptat de l'11 de Setembre.

És per això que des del primer moment em va semblar un bon tema per tractar i intentar veure on estan els problemes per tal de trobar possibles solucions i així millorar l'experiència dels passatgers als aeroports.

La decisió de realitzar aquest projecte amb el formalisme de les xarxes de petri acolorides es va prendre a causa del meu pas per l'assignatura de Modelatge i Simulació de Sistemes Aeroportuaris el semestre passat.

Allà, vàrem aprendre a modelar amb el CPN-Tools i entre els projectes que vam fer, destaca una xarxa de petri similar a la que desenvoluparé en aquest projecte, però a més baix nivell.

Em va semblar una bona base sobre la que poder treballar en el meu Treball de Fi de Grau, ja que el tema m'agradava, el formalisme també, i creia que tenia moltes possibilitats. Per tot això, vaig pensar en intentar fer un model més ampli i detallat, amb la base que ja tenia, per tal de poder examinar el funcionament dels filtres de seguretat dels aeroports en la realitat i veure quines conclusions se'n podien treure.

El gran repte del projecte és aconseguir modelar com més detalladament millor el sistema real, per intentar aproximar-nos al màxim. Per una part, des de la perspectiva de tot el procés que duu a terme un passatger per passar el filtre de seguretat d'un aeroport, que a grans trets ho podríem resumir en tres grans blocs: deixar les safates, passar l'arc de seguretat i recollir-les.

Dins aquests blocs, com veureu a continuació, es troben molts altres processos i detalls, que s'han hagut de tenir en compte al treball.

1.2. Objectius del treball

Abans que res, es procedeix a examinar els tres possibles escenaris que han anat apareixen al llarg del projecte, i posteriorment, s'explicarà amb més detall l'escenari triat degut a les circumstàncies en les que ens hem trobat.

1.2.1. Escenari A

L'objectiu principal (OP) del projecte és l'estudi del sistema real de Control de Seguretat de l'Aeroport del Prat i la posterior modelització i simulació i cerca de possibles millores utilitzant el formalisme de Xarxes de Petri acolorides i CPN Tools.

El projecte es basa en tres etapes:

1. Primerament, estudiar el procés de control de seguretat de l'Aeroport del Prat mitjançant dades preses presencialment.
2. Posteriorment, invertir aquesta recol·lecció de dades en crear un model que simuli el sistema real utilitzant el formalisme de les Xarxes de Petri acolorides i CPN Tools.
3. Per últim, intentar trobar possibles millores en el model per poder aplicar-les després en el sistema real.

D'acord a aquestes etapes, podem definir Objectius secundaris o parcials i catalogar-los segons la seva importància en la realització del projecte:

- OS1: Aconseguir el permís per a l'entrada a la zona de Control de Seguretat de l'Aeroport per tal de poder extreure les dades necessàries pel projecte.
- OS2: Decidir quines dades són necessàries pel projecte i quines no, i organitzar el futur treball de camp d'acord a això.
- OS3: Treball de camp: Recollir totes les dades necessàries.
- OS4: Millora del programa ja existent en CPN Tools.
- OS5: Adaptació del model amb xarxes de petri acolorides existent, que s'adeqüi al sistema real i a les dades recollides durant el treball de camp.

- OS6: Cerca de situacions conflictives en que els passatgers han d'esperar més del compte.
- OS7: Presentació de les solucions creades i extracció de conclusions amb els resultats obtinguts.

Taula 1: Escenari A – Catalogació dels objectius

CATALOGACIÓ DELS OBJECTIUS A	
OBJECTIU	IMPORTÀNCIA
OS1	Crític
OS2	Prioritari
OS3	Crític
OS4	Prioritari
OS5	Prioritari
OS6	Prioritari
OS7	Secundari

1.2.1.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos

Per estudiar la viabilitat del projecte, primerament fem un llistat dels riscos als que ens enfrontem en la realització d'aquest, i els organitzem segons la probabilitat que creiem que existeix de que sorgeixen durant el transcurs del projecte:

Risc 1: No obtenir el permís per passar el filtre de seguretat de l'Aeroport del Prat i prendre les dades necessàries pel projecte.

Risc 2: No aconseguir la informació necessària durant el treball de camp.

Risc 3: No ser capaç de modelar el sistema desitjat.

Risc 4: No trobar cap millora per implementar al sistema real.

Risc 5: No realitzar les tasques d'acord a la planificació temporal.

Risc 6: No realitzar alguna tasca per motius desconeguts.

Risc 7: No poder finalitzar el projecte per algun motiu desconegut.

Taula 2: Escenari A – Catalogació dels Riscos

CATALOGACIÓ DELS RISCOS A		
RISC	PROBABILITAT	IMPACTE
Risc 1	Molt probable	Crític
Risc 2	Probable	Gran
Risc 3	Probable	Gran
Risc 4	Probable	Petit
Risc 5	Probable	Petit
Risc 6	Poc probable	Gran
Risc 7	Poc probable	Crític

1.2.1.2. Solucions

A continuació pensem en possibles solucions que podem trobar davant dels riscos plantejats.

Solució R1: Pla de Contingència: OPCIÓ B.

Solució R2: Utilitzar dades acadèmiques (no reals).

Solució R3: Simplificar-lo i plantejar nous objectius més realistes d'acord amb les circumstàncies.

Solució R4: En aquest cas, el treball haurà comprovat que el sistema és el més eficient possible. Tot i així, no obtindrem dades útils per a possibles millores.

Solució R5: Adaptació de la planificació al flux temporal real en el que s'està desenvolupant el projecte.

Solució R6: Valorar la importància de la tasca en qüestió i intentar derivar el projecte cap allà on convingui degudes les circumstàncies.

Solució R7: Intentar reconduir el projecte per tal de poder dur-lo a terme.

1.2.2. Escenari B

L'objectiu principal (OP) del projecte finalment és fer un model ideal i general (sense entrar en detalls, sinó fent un model a més alt nivell) amb xarxes de petri

acolorides i estudiar l'adaptació d'aquest a quatre aeroports de diferents característiques: Barcelona, Madrid, Girona i Paris CDG.

A continuació es mostren els objectius secundaris o parcials i es cataloguen segons la seva importància en la realització del projecte:

- OS1: Estudi de quatre aeroports amb característiques diferents i les dades necessàries dels seus Controls de Seguretat.
- OS2: Modelització d'un model genèric del procés de Control de Seguretat dels aeroports utilitzant el formalisme de Xarxes de Petri acolorides i CPN Tools.
- OS3: Adaptació del model amb xarxes de petri acolorides existent als quatre aeroports anteriorment estudiats.
- OS4: Presentació de les solucions creades i extracció de conclusions amb els resultats obtinguts i de les diferències entre els quatre escenaris.

Taula 3: Escenari B – Catalogació dels Objectius

CATALOGACIÓ DELS OBJECTIUS B	
OBJECTIU	IMPORTÀNCIA
OS1	Crític
OS2	Crític
OS3	Prioritari
OS4	Secundari

1.2.2.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos

Fem un llistat dels riscos als que ens enfrontem en la realització del projecte en aquest escenari, i els organitzem segons la probabilitat que creiem que existeix de que sorgeixen durant seu transcurs:

Risc 1: No obtenir dades suficients del funcionament d'un control de seguretat.

Risc 2: No aconseguir la informació dels aeroports.

Risc 3: No ser capaç de modelar el sistema desitjat.

Risc 4: No realitzar les tasques d'acord a la planificació temporal.

Risc 5: No realitzar alguna tasca per motius desconeguts.

Risc 6: No poder finalitzar el projecte per algun motiu desconegut.

Taula 4: Escenari B – Catalogació dels riscos

CATALOGACIÓ DELS RISCOS B		
RISC	PROBABILITAT	IMPACTE
Risc 1	Probable	Crític
Risc 2	Probable	Crític
Risc 3	Probable	Gran
Risc 4	Probable	Petit
Risc 5	Poc probable	Gran
Risc 6	Poc probable	Crític

1.2.2.2. Solucions

A continuació pensem en possibles solucions que podem trobar davant dels riscos plantejats.

Solució R1: Pla de Contingència: OPCIÓ C.

Solució R2: Realitzar-ho a més alt nivell.

Solució R3: Simplificar-lo i plantejar nous objectius més realistes d'acord amb les circumstàncies.

Solució R4: Adaptació de la planificació al flux temporal real en el que s'està desenvolupant el projecte.

Solució R5: Valorar la importància de la tasca en qüestió i intentar derivar el projecte cap allà on convingui degudes les circumstàncies.

Solució R6: Intentar reconduir el projecte per tal de poder dur-lo a terme.

1.2.3. Escenari C

En aquesta opció, l'objectiu principal (OP) del projecte seria fer un model genèric amb xarxes de petri acolorides, en el que es puguin variar el nombre de cintes i

d'arcs del control de seguretat i analitzar les diferents solucions per extreure'n conclusions.

A continuació es mostren els objectius secundaris o parcials i es cataloguen segons la seva importància en la realització del projecte:

- OS1: Estudiar el procediment dels filtres de seguretat dels aeroports.
- OS2: Modelització d'un model genèric del procés de Control de Seguretat dels aeroports utilitzant el formalisme de Xarxes de Petri acolorides i CPN Tools.
- OS3: Realització de proves amb diferents dades d'entrada.
- OS4: Presentació de les solucions creades i extracció de conclusions amb els resultats obtinguts i de les diferències entre els escenaris.
- OS5: (SI DONA TEMPS). Comparar algun dels resultats amb un aeroport que tingui les mateixes característiques i veure si els resultats s'ajusten.

Taula 5: Escenari C – Catalogació dels Objectius

CATALOGACIÓ DELS OBJECTIUS C	
OBJECTIU	IMPORTÀNCIA
OS1	Crític
OS2	Crític
OS3	Prioritari
OS4	Prioritari
OS5	Secundari

1.2.3.1. Estudi de viabilitat: Avaluació i catalogació de riscos

Fem un llistat dels nous riscos als que ens enfrontem en la realització del projecte, i els organitzem segons la probabilitat que creiem que existeix de que sorgeixen durant seu transcurs:

Risc 1: No obtenir dades suficients del funcionament d'un control de seguretat.

Risc 2: No ser capaç de modelar el sistema desitjat.

Risc 3: No realitzar les tasques d'acord a la planificació temporal.

Risc 4: No realitzar l'últim objectiu (opcional) per falta de temps.

Risc 5: No poder finalitzar el projecte per algun motiu desconegut.

Taula 6: Escenari C – Catalogació dels Riscos

CATALOGACIÓ DELS RISCOS C		
RISC	PROBABILITAT	IMPACTE
Risc 1	Probable	Crític
Risc 2	Probable	Petit
Risc 3	Probable	Gran
Risc 4	Molt Probable	Petit
Risc 5	Poc probable	Crític

1.2.3.2. Solucions

A continuació pensem en possibles solucions que podem trobar davant dels riscos plantejats.

Solució R1: Realitzar-ho amb dades experimentals.

Solució R2: Simplificar-lo i plantejar nous objectius més realistes d'acord amb les circumstàncies.

Solució R3: Adaptació de la planificació al flux temporal real en el que s'està desenvolupant el projecte.

Solució R4: És una tasca opcional, per tant si no donés temps de dur-la a terme, no passaria res.

Solució R5: Intentar reconduir el projecte per tal de poder dur-lo a terme.

1.2.4. Desenllaç

Finalment, degut a la impossibilitat de l'obtenció del permís per extreure les dades de l'Aeroport del Prat (escenari A, risc 1) i, posteriorment, a la dificultat de trobar dades suficients dels aeroports en qüestió (escenari B, risc 2) s'ha hagut d'optar per la opció C, especificada anteriorment.

A l'Annex 1 es troba la correspondència que es va dur a terme amb els responsables de l'Aeroport del Prat.

1.3. Parts interessades

Taula 7 Parts interessades en el projecte

Nom	Descripció	Responsabilitat
Roman Buil	Director del projecte	Defineix el projecte i controla el seu desenvolupament així com la tasca de l'alumne.
Sònia Arizmendi	Analista i redactora	Cerca la informació necessària, realitza el treball de camp per extreure les dades necessàries i les analitza. A més, redacta la memòria final.
Sònia Arizmendi	Programadora	Realitza model causal en xarxes de petri del sistema amb les dades obtingudes, així com valida el sistema i extreu conclusions del projecte realitzat.

1.4. Estructura del treball

Capítol 1. És l'apartat en el que ens trobem, on es detalla la introducció, la motivació per a fer el treball, així com els objectius que persegueix aquest en els diversos escenaris. Es mostra l'estudi de viabilitat de cadascun, i es presenten les parts interessades del projecte.

Capítol 2. En aquest capítol es situa al lector en el context necessari per entendre el treball, primerament parlant dels processos de pas pel filtre de control de seguretat, i darrerament amb una introducció a les xarxes de petri i als seus diferents tipus.

Capítol 3. Posteriorment, amb els coneixements bàsics apresos, s'endinsa al lector en el món de les xarxes de petri acolorides i del funcionament del programa. També s'especifiquen les dades preses al Treball de Camp i es duu a terme la validació del Model.

Capítol 4. A continuació, trobem l'anàlisi dels resultats obtinguts en l'adaptació a diferents situacions estudiades i s'analitzen les diferències.

CAPITOL 2: CONCEPTES BÀSICS

2.1. Controls de Seguretat

2.1.1. Procés

Tots els passatgers que accedeixen a les zones d'embarcament han de passar un control de seguretat, travessant un arc detector de metalls i passant el seu equipatge de mà i la resta dels seus objectes (jaquetes, mòbils, claus...) per un equip d'inspecció de rajos-X.

Per tal de facilitar el pas dels objectes per l'escàner, especialment en el cas dels articles petits, s'han d'utilitzar safates especials que hi ha a disposició dels usuaris.

El procés és el següent:

- Abans de passar el control de seguretat, es sol·licitarà al passatger la seva targeta d'embarcament (ja sigui en paper o electrònicament des del seu telèfon mòbil).
- El passatger haurà de treure's la jaqueta i/o abric i col·locar-los a la safata proporcionada, així com monedes, polseres, rellotges i tots els objectes metàl·lics que porti a sobre. Aquestes peces hauran de ser examinades per separat mentre els passatgers són inspeccionats per l'arc detector de metalls.
- També ha de treure l'ordinador portàtil i qualsevol dispositiu electrònic gran de la seva funda corresponent, i col·locar-los a la safata per tal que siguin inspeccionats per separat de les fundes i de la resta de l'equipatge de mà.
- Es recomana igualment als passatgers que es treguin els cinturons i els calçats grans a l'hora de passar per l'arc detector de metalls.
- Al passar l'arc, si es detecta algun objecte metàl·lic, els agents escorcollaran al passatger per verificar si duu alguna cosa a sobre prohibida als aeroports.

- Per últim, el passatger recollirà els seus objectes personals a l'altra banda de la cinta, un cop han passat per la màquina de Rajos-X on els agents han controlat que no es portin cap dels objectes prohibits.

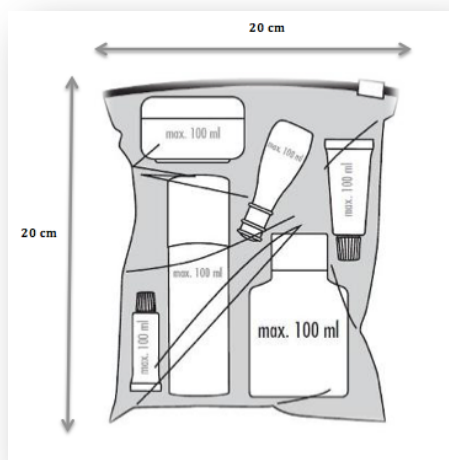
En el cas d'Espanya, aquests són els productes prohibits a la cabina d'un avió segons el Ministeri d'Interior.



Il·lustració 1: Productes prohibits en cabina

I a continuació es mostren les excepcions pels líquids, que han de complir tres regles bàsiques, com es mostra posteriorment a la Il·lustració 2:

1. Estar continguts en pots de capacitat màxima de 100ml.
2. Els pots han d'estar guardats a una bossa transparent, amb sistema d'autotancament, que permeti la seva inspecció.
3. La bossa no pot superar el litre de capacitat i es permet una per passatger.



Il·lustració 2: Excepcions líquids

Els passatgers que per motius de salut porten implants o aparells com pròtesis metàl·liques hauran d'indicar la seva situació especial al personal de seguretat abans de passar pels arcs detectors, per tal que siguin inspeccionats manualment.

2.1.2. Funcionament intern

És important adequar el nombre de filtres oberts al nombre de passatgers, amb la suficient antelació per evitar cues. I, en cas que això fallés, redirigir als passatgers dels filtres saturats a uns altres més descongestionats.

Un problema amb el que ens trobem al treballar en processos d'entrada als aeroports són els pics de passatgers a les hores punta i al llarg de l'any en les temporades altes.

Existeix un notable grau d'incertesa al treballar amb processos dels aeroports i les reaccions dels clients (amb quanta antelació arribaran a l'aeroport, quantes maletes portaran, quin filtre de seguretat escollirà cadascú en el cas que hi hagi més d'un...). Malgrat això, es poden establir uns patrons de conducta dels passatgers gràcies a la experiència.

A més, degut a que sovint es treballa amb una demanda de places teòriques, donat que el nombre de places venudes és una dada que només tenen les companyies. És per això que la estimació es fa a través de la capacitat màxima dels avions, el grau d'ocupació de les temporades anteriors en les mateixes dates i les previsions dels agents de handling.

La facturació ha de ser contínuament monitoritzada per poder tenir una orientació de quants passatgers passaran pròximament els filtres de seguretat de l'aeroport.

El que es durà a terme en aquest projecte és intentar establir uns patrons pel programa amb dades preses a l'Aeroport del Prat.

2.1.3. Modalitats estructurals

A l'hora d'estudiar els tipus de filtres de seguretat, s'ha determinat que gairebé tots es regeixen per la següent estructura: dos cintes de rajos X per les maletes per cada arc detector de metalls, col·locades una a cada costat, com es mostra en la següent figura.

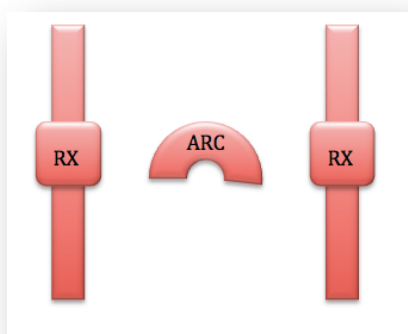


Figura 1: Model 2 Cintes per Arc

Tot i ser aquesta l'estructura principal, les cintes s'obren i es tanquen als passatgers depenent del volum de trànsit a cada instant. Aquesta estructura ens dóna la possibilitat de convertir-se en un sistema d'una cinta i un arc quan el nombre de passatgers és menor, tal com es mostra a la Figura 2.

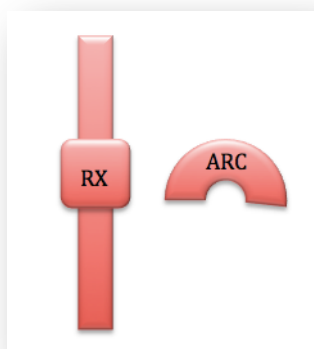


Figura 2: Model 1 Cinta per Arc

2.2. Xarxes de petri

Una xarxa de petri (PN) és una representació matemàtica o gràfica que permet expressar un sistema a esdeveniments discrets. Està formada per tokens, nodes lloc i transicions, units per arcs. Va ser definida als anys 60 per Carl Adam Petri.

Definició formal

Podem definir una XdP com un 5-upla:

XdP = (P, T, F, W, M₀), on :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ és un conjunt finit de nodes lloc.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ és un conjunt finit de transicions.
- $P \cap T = \emptyset$
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ és un conjunt d'arcs dirigits.
- $W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ és una funció de pès.
- $M_i: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ és el marcat inicial de la xarxa

Les XdP estan compostes pels següents elements:

- **Nodes lloc:** Poden representar estructures, elements o components del sistema, que poden ser físics o no. S'utilitzen per descriure cues d'espera del sistema, condicions de l'estat en que es troben les entitats o recursos que té el propi sistema. Gràficament es representen amb un cercle.
- **Transicions:** Representen les accions i events que pot produir el sistema. Gràficament es representen amb un rectangle.
- **Arcs:** És una connexió dirigida entre un node lloc i una transició, representant la unió entre tots dos. Un arc uneix un node lloc i una transició, mai unirà dos del mateix tipus. Gràficament és representa en forma de fletxa.
- **Tokens:** Representen una unitat d'informació o d'un recurs, els quals són generats i consumits per les transicions. Són l'element dinàmic de les XdP i defineix l'estat del sistema en un moment donat segons en quins nodes llocs es trobin i en quina quantitat. Aquest fet, determinarà quines transicions estan actives i quines no. Es representen mitjançant punts, que es troben dins dels nodes lloc.

La seva representació gràfica és la següent:

- Els nodes tipus transició es representen gràficament per rectangles, i s'utilitzen per modelar els events que afecten a la dinàmica d'un sistema.
- Els nodes tipus lloc es representen gràficament per cercles, i s'utilitzen generalment per descriure: cues d'espera del sistema, estats dels elements del sistema, i condicions que permeten que un event pugui o no aparèixer. El número d'elements en els llocs s'indica gràficament amb punts (tokens) a l'interior del cercle.
- Els arcs que connecten els nodes lloc amb els nodes transició solen tenir un pes associat i s'utilitzen per a descriure les condicions necessàries per a que es pugui activar l'event associat a la transició. $W(P_j, T_i)$ ó $W(T_i, P_k)$

Per últim, les regles de la simulació del comportament dinàmic d'una Xarxa de Petri són:

1. Una transició T_i està activada si cada un dels nodes P_j tipus lloc connectats a l'entrada de T_i tenen com a mínim $W(P_j, T_i)$ elements. On $W(P_j, T_i)$ representa el pes de l'arc que uneix el node P_j amb la transició T_i .
2. Una transició activada pot "disparar-se" en qualsevol instant de temps.
3. Com a resultat de "disparar" una transició activada, s'eliminen $W(P_j, T_i)$ elements de cada node P_j d'entrada a T_i , i s'afegeixen $W(T_i, P_k)$ elements a cada un dels nodes P_k de sortida de T_i .

2.2.2. Xarxes de Petri acolorides (CPN)

De forma general, els tokens representen objectes, persones o recursos en el sistema. Cadascun d'aquests és possible que tingui diferents atributs. Per representar aquests atributs en els tokens, s'utilitzen les XdP Acolorides (XdPA), on els colors representen les característiques o atributs dels objectes modelats.

Introdueixen un concepte molt senzill i alhora molt potent: els tokens poden disposar d'un color, entenent com a color al conjunt de característiques que els defineixen, permetent identificar els tokens en base a la seva estructura i característiques pròpies, de manera que cada token ja no té una importància o

rol tan sols com un element, sinó sobre la base de la pertinença a un o un altre color dins de tot el conjunt de colors del sistema. A més, les CPN també permeten introduir funcions lineals als arcs.

Aquestes dues característiques fan a les CPN molt més expressives que les PN, ja que disposen de més poder de modelatge. De fet, en teoria, totes dues disposen exactament de la mateixa poder computacional, si bé en la pràctica, malgrat existir mètodes de conversió, els models PN no solen traduir-se a models CPN ni viceversa, ja que els dissenys realitzats sota tècniques CPN es realitzen directament sota termes CPN, i no mitjançant un modelatge PN que posteriorment sigui traduït.

Definició formal:

Matemàticament, podem definir una XDPA amb la següent tupla:

$XdPA = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$ on:

- $\Sigma = \{C1, C2, \dots, C_{nc}\}$: Conjunts finits i no buits de colors. Permet especificar els atributs que han de definir-se per cada tipus d'entitat que es vol modelar.
- $P = \{P1, P2, \dots, P_{np}\}$: Conjunt finit de nodes que permeten especificar l'estat del sistema.
- $T = \{T1, T2, \dots, T_{nt}\}$: Conjunt finit de nodes transicions. Les transicions en el model de simulació corresponent a events que solen codificar-se com el inici o final d'una activitat, o bé com el final d'un succés extern, com seria el cas d'un procés d'arribades.
- $A = \{A1, A2, \dots, A_{na}\}$: Conjunt finit d'arcs.
- N : funció, $N(A_i)$, que permet associar a cada arc els seus nodes terminals (el node origen i el node destí). Els dos nodes han de ser de tipus diferent; per tant, si un node es una transició, l'altre ha de ser un node lloc, i a la inversa.
- C : conjunt de funcions color, $C(P_i)$, que permeten especificar per cada node lloc el tipus d'entitats que poden emmagatzemar-se:

$$C(P_i) = C_j \quad P_i \in P, C_j \in \Sigma$$

- G: funció associada als nodes tipus transicions, $G(T_i)$, que solen utilitzar-se per desinhibir l'event associat a la transició en funció dels valors dels atributs de la entitat que es vol processar.
- E: Expressions associades a arcs, $E(A_i)$, que permeten especificar el tipus d'entitat del node lloc d'entrada a la transició que ha d'escollir-se d'entre les entitats emmagatzemades en el node lloc per habilitar l'event.
- I = Funció d'inicialització, $I(P_i)$, que permet especificar els valors dels colors (atributs) de les entitats inicialment emmagatzemades en els nodes llocs.

2.2.2. Xarxes de Petri Acolorides Temporitzades (Timed-CPN)

És habitual que hi hagi la necessitat de modelar sistemes en què no només els processos i les seves seqüències siguin importants, sinó que també ho sigui el quan aquests es produeixen, o el temps que porta realitzar-los. De fet, els sistemes basats en principis síncrons són tan abundants, que realment les CPN deixarien d'abordar una família de problemes tan àmplia si no fossin capaços de gestionar el temps, que quedarien relegades a camps d'aplicació molt específics. Les Timed-CPN vénen a aportar a les CPN les eines necessàries per a la gestió del temps, de manera que les Timed-CPN són, a nivell bàsic, CPN capaços de modelar aspectes temporals.

▪ Rellotge Global

Cada xarxa disposa ara d'un rellotge, el qual va marcant cicles unitaris de temps en cada pas de marcat.

No es tracta d'un rellotge natural sobre el qual vagi transcorrent el temps, sinó que atén a un criteri de rellotge funcional. Així doncs, per a la xarxa, no hi ha pas algun temps mentre que no es produeix un avanç en els marcats, de tal manera que cada cicle de rellotge es correspon amb el pas cap a un nou marcat.

▪ Marques de Temps o timestamps

Els tokens, fins ara acolorits o tipificats, amplien les seves característiques, de tal manera que ara poden portar aparellats implicacions temporals que informen des de dos punts de vista diferents però complementaris sobre l'impacte en temps de les accions, així com del sincronisme de les mateixes. De fet, quan no hi ha marques de temps, s'assumeix que aquestes accions o tokens tenen

associades marques de temps zero, de manera que al final, una Timed-CPN queda sempre completament temporitzada, encara que la simbologia obviï el component temporal en alguns elements.

Les timestamps s'implementen mitjançant enters no negatius, pertanyents al tipus TIME, i es modelen mitjançant la precedència del símbol arrova @. Així doncs, qualsevol implicació temporal en una xarxa, anirà precedida d'@. Aquestes timestamps implementen moments de sincronisme (moments en què els tokens poden ser utilitzats, quedant latents en un altre cas), així com moments de retard (temps que porta la realització d'una tasca, implementat com el temps pres per un token entre que és consumit d'un lloc i generat en un altre).

Les timestamps implementen sincronisme o retard, basant-se on i com estiguin modelades dins de la xarxa, atenent als següents criteris:

- Timestamps en tokens

Quan un token implica una marca de temps, mitjançant el modelatge a través de @, està informant que aquest testimoni no podrà ser usat fins que el rellotge global no arribi aquest temps.

D'aquesta forma, el que fins ara en les CPN no temporitzades podia suposar un símbol usable en el següent tret de transició, pot ser que en les Timed-CPN, tot i estar disponible el testimoni per a ser usat, aquest no pugui ser-ho fins que el rellotge global abast la marca de temps associada al token a través d '@.

- Timestamps en transicions

Implementen retard, i semànticament signifiquen que cada vegada que la transició en qüestió es dispari i consumeixi tokens, aquests seran generats amb el retard notificat després @ [x], la qual cosa implica que la comissió d'aquesta acció ha portat un temps x.

Per tant, aquest token serà generat en el seu nou lloc, però amb una modificació en la seva marca de temps.

- Timestamps en arcs de sortida

Una transició, tal qual es va exposar, pot tenir diversos llocs de sortida. Pot ocórrer també, que la pròpia transició modela una acció en el món real que impliqui un retard concret. No obstant això, és possible també que, depenent de la destinació del resultat d'aquest procés, els camins en si impliquin retards addicionals.

Per cobrir aquesta necessitat comuna en els problemes reals, les Timed-CPN no només permeten associar retards a les pròpies transicions, sinó també als seus arcs de sortida.

2.2.3. Estat de l'art

Els models causals en xarxes de petri són molt utilitzats per a representar sistemes d'esdeveniments discrets. Existeixen diferents softwares, com HPsim, Petri Net Toolbox o Petri.NET Simulator, però en aquest projecte serà el CPN Tools, ja que és el programa amb el que s'ha treballat durant el curs.

2.2.3.1. CPNTools

CPNTools és una eina per a l'edició, simulació i anàlisi de les xarxes de Petri d'alt nivell. És compatible amb xarxes de Petri bàsiques, xarxes de Petri temporitzades i xarxes de Petri acolorides. Disposa d'un simulador i inclou una eina d'anàlisi d'espai d'estat.

CPNTools es van desenvolupar originalment pel Grup de CPN a la Universitat d'Aarhus de 2000 a 2010. Els principals arquitectes darrere de l'eina són Kurt Jensen, Søren Christensen, Lars M. Kristensen, i Michael Westergaard. Des de la tardor de 2010, CPNTools es transfereix al grup AIS, Universitat Tecnològica d'Eindhoven, Països Baixos.

CPNTools comprèn dos components principals, un editor gràfic i un component de simulador de backend. L'editor gràfic està escrit en el llenguatge acadèmic, BETA, i el backend simulador està escrit en la variant Standard ML SML / NJ.



Il·lustració 3: Icono CPNTools

CAPÍTOL 3: DESENVOLUPAMENT DEL MODEL

3.1. Introducció

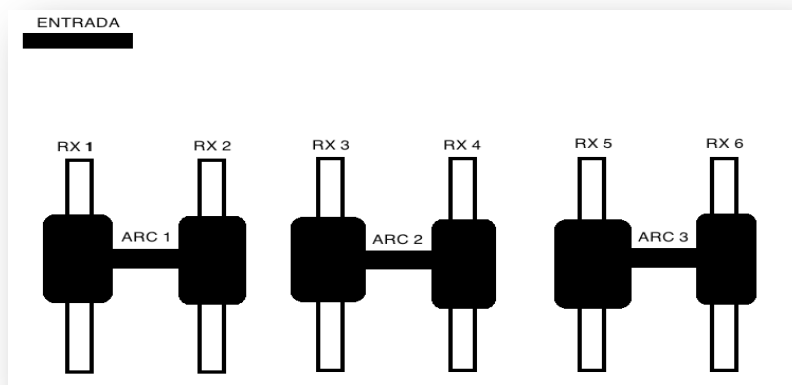
El model es basarà en el procés explicat a l'apartat 2.1.1, ja que és el procés que segueixen els controls de seguretat d'AENA, entre ells l'Aeroport del Prat, que és d'on s'han extret les dades. Però, per a una millor comprensió i de simplificar una mica la feina, cal afegir algunes hipòtesis abans de realitzar el model en qüestió.

- Els passatgers triaran una cinta que estigui relativament buida.
- Els passatgers esperen a que les safates entrin a la màquina de Rajos X per entrar a l'ADM.
- Com a màxim trobem 2 individus de cada cinta esperant a passar per l'arc, ja que la resta encara està deixant les seves safates.
- Com a màxim a cada passatger li pot sonar l'alarma de l'ADM una vegada.

3.2. Descripció del procés

El procés comença amb l'arribada d'un passatger al filtre de seguretat. En aquell moment se li atribueix el temps d'arribada, el nombre de safates que portarà i les probabilitats de que li sonin les dues alarmes. També se li assigna una Cinta amb l'Arc corresponent pel que passarà, tenint en compte a quina cua hi ha menys gent.

Seguidament es dirigeix a la Cua de la Cinta que se li ha assignat. El temps per arribar a la cua assignada depèn de la distància d'aquesta a l'entrada, tal i com es mostra a la il·lustració 6.



Il·lustració 4: Representació Filtre de Seguretat

Després el passatger deixa els seus objectes personals en les safates assignades i quan hi ha menys de dues persones esperant per passar l'arc, es dirigeix a la Cua de l'Arc.

Quan arriba el seu torn, passa per sota l'Arc de Seguretat. Si l'alarma s'activa, el treballador revisarà al passatger, i als que els trobin alguna complicació els tocarà tornar a passar l'arc de seguretat.

La resta es dirigeixen a la Cua de recollir la safata, on recolliran tots els seus objectes personals. Si l'alarma sona per la seva maleta perquè el passatger duu algo que no és permès, un treballador de l'aeroport revisarà la seva maleta.

Per finalitzar el procés, el passatger es dirigeix a la sortida del filtre de seguretat on seguidament ja es podrà dirigir a la Plataforma del seu vol per iniciar el seu viatge.

3.3. Disseny del model

Ara anem a definir com serà el model, amb la base de les explicacions que s'han fet abans sobre tots els elements que integren un sistema, a continuació es mostren les definicions i els significats de cada element de la XdPA.

3.3.1. Definicions i Significats de cada element

3.3.1.1. Colors

Taula 8: Definició de Colors

Color	Definició	Significat
INT	int	
A1	int timed	Nombre enter en un node temporitzat
A5s	INT*INT*INT*INT*INT	5 nombres enters al node lloc
A6	INT*INT*INT*INT*INT*INT timed	6 nombres enters en un node temporitzat
A7	INT*INT*INT*INT*INT*INT*INT timed	7 nombres enters en un node temporitzat
A8	INT*INT*INT*INT*INT*INT*INT*INT timed	8 nombres enters en un node temporitzat

3.3.1.2. Variables i Constants

Taula 9: Definició de Variables

Variable	Tipus	Significat	Valors
alarmaADM	INT	Xifra que indica si li sonarà l'alarma de l'Arc al passatger	0 – NO 1 – SI
alarmaRX	INT	Xifra que indica si li sonarà l'alarma de l'Arc al passatger	0 – NO 1 – SI
repetir	INT	Xifra que indica si el passatger ha de repetir el procés de passar per l'Arc	0 – NO 1 – SI
num_safates	INT	Número de safates que durà el passatger	1,2,3,4
rx	INT	Cinta assignada al passatger	1,2,3,4,5,6
rxadm	INT	Nombre de cintes obertes per cada arc	1,2
adm	INT	Arc assignat al passatger	1,2,3
n	INT	Variable auxiliar que adopta el nombre de ADM del passatger per a les transicions T3 Arc de Seguretat i T5 Repetir Arc	1,2,3
tent	INT	Representa el temps d'entrada del passatger al sistema	0 - 3600

Pel que fa als paràmetres d'entrada que romanen constants durant la simulació (CINTESperADM, ADM) i les constants (P_LOW, P_NORMAL, P_HIGH), a continuació a la Taula 10 es mostren els seus valors i el significat d'aquests.

Taula 10: Valor i significat de les Constants del Model

Constant	Valor	Significat
CINTESperADM	2	Nombre de Cintes que correspon a cada Arc de Seguretat
ADM	1	Nombre d'Arcs de seguretat actius del sistema
P_LOW	100	Probabilitat baixa de que una transició s'activi
P_NORMAL	1000	Probabilitat mitjana de que una transició s'activi
P_HIGH	10000	Probabilitat alta de que una transició s'activi

3.3.1.3. Nodes Lloc

Taula 11: Color i Significat dels Nodes Lloc

Node lloc	Color	Significat
Contador	INT	Node auxiliar per activar la transició Inicialització Aeroport tantes vegades com ADM estiguin actius
Temps	A1	Emmagatzema els temps generats d'entrada dels passatgers
Prob. Alarma ADM	INT	Probabilitat de que salti l'alarma de l'ADM
Prob. Alarma RX	INT	Probabilitat de que salti l'alarma del RX
Numero RX per cada ADM	INT	Emmagatzema el nombre de cintes per cada arc
Num Safates	INT	Probabilitats de que el passatger porti 1,2,3 o 4 safates
ADM lliures	A1	Conté tants tokens com adm estiguin lliures, i el respectius temps als que ho estaran
RX lliures	A1	Conté tants tokens com rx estiguin lliures, i el respectius temps als que ho estaran
Cua deixar safata	A6	Persones que esperen per deixar la safata a la seva cinta
Esperen	INT	Node auxiliar que provoca que els passatgers esperin a deixar la safata fins que hi hagi com a molt una persona de la seva cinta esperant per passar per l'arc
Cua ADM	A6	Persones a la cua de l'arc
Alarma ADM	A7	Persones a les que el hi ha sonat l'adm
Prob. Repetir	INT	Conté la probabilitat de que hagin de repetir el procés de l'arc aquells als que els ha sonat
Repetir	A8	Persones que tornen a passar per l'ADM
Cua recollir safata	A8	Persones esperant per recollir la seva safata
Alarma RX	A7	Persones que els estan revisant la maleta
Final RX	A7	Final del procés de les cintes
Sortida	A5s	Persones que han finalitzat tot el procés abans que acabi la hora de simulació

3.3.1.4. Transicions

Taula 12: Significat de les transicions

Transició	Significat
T0 Inicialització Aeroport	Transició que dona tots els valors necessaris del filtre de seguretat al model i liberalitza les cintes que s'ha decidit que estaran obertes
T1 Arribada Client	Arriba un client nou al sistema
T2 Deixar Safata	El client omple les seves safates i les deixa a la cinta del RX
T3 Arc de Seguretat	El client travessa l'arc de seguretat
T4 Revisió Client	Si l'arc pita, els treballadors revisen al client
T5 Repetir Arc	El client torna a passar per l'ADM
T6 Recollir Safata	El client recull les seves safates de la cinta
T7 Revisió Maleta	Si l'alarma de la màquina RX pita, revisen la maleta del client
T8 Calcular temps sortida	Transició que calcula el temps en el que cada client arriba al final del sistema

3.3.1.5. Guardes

Taula 13: Significat de les guardes

Transició	Guarda	Significat
T0 Inicialització Aeroport	$n \leq \text{ADM}$	Comprova que el token 1'(n) que rep del Contador sigui menor o igual que el nombre d'Arcs del sistema
T1 Arribada Client	$\text{intTime}() \leq 3600$	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
T2 Deixar Safata	$\text{intTime}() \leq 3600$	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
	$x = \text{adm}$	Comprova que hi ha com a lloc a la cua de l'ADM del client amb el token 1'(x) que rep del Node Esperen
T3 Arc de Seguretat	$\text{intTime}() \leq 3600$	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
	$n = \text{adm}$	Compara l'ADM del client amb el token 1'(n) que rep del Node ADM lliures

T4 Revisió Client	intTime()\leq3600	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
T5 Repetir Arc	intTime() \leq 3600	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
	n=adm	Comprova que l'ADM del client estigui lliure amb el token 1'(n) que rep del Node ADM lliures
T6 Recollir Safata	intTime() \leq 3600	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
T7 Revisió Maleta	intTime() \leq 3600	Desactiva la transició a l'arribar a la hora de simulació
T8 Calcular temps sortida	-	-

Tractat-se d'un model genèric, es pot utilitzar en diferents casos sempre i quan tinguin les característiques indicades anteriorment (Secció 2.1.1. Procés) i compleixin les hipòtesis indicades (Secció 3.1. Introducció).

Per cada model que es vulgui estudiar caldrà especificar una sèrie de paràmetres (especificats a la Taula 14).

Taula 14: Dades necessàries

Passatgers/Hora
Freqüència d'arribada
Temps procés
Temps revisió passatger
Temps per safata
Safates per passatger
% Alarma ADM
% Repetir ADM
% Alarma RX

3.4. Treball de Camp

Per tal que els resultats fossin el més acurats possibles, es varen prendre dades orientatives observant el filtre de seguretat de la terminal T1 de l'Aeroport del Prat, de les quals parlarem a continuació.

Cal dir que la presa de dades va ser realitzada des de l'exterior del Control de Seguretat amb les dificultats per al bon enteniment del funcionament del control que això comporta, degut a la denegació per part de l'Aeroport del permís per accedir-hi.

A continuació mostrem i expliquem les dades recollides durant el Treball de Camp a l'Aeroport del Prat. Cal destacar que les dades es varen prendre un dia feiner de 20 a 21h, amb un Arc i dues Cintes activades.

Al llarg d'una hora varen arribar 893 persones, de les quals 50 es varen quedar a la cua a l'acabar l'hora, per tant, la freqüència d'arribada és de 1pax/4s i utilitzarem la funció Random Discrete (1,7) per tal de reproduir-la.

Pel que fa al temps en dur a terme el procés, es varen analitzar a 10 persones i els resultats son els mostrats a la Taula 14.

Taula 15: Temps procés

77	75	65	156	80	120	98	78	87	65	90,1
----	----	----	-----	----	-----	----	----	----	----	-------------

Una altra dada que es va anotar va ser analitzar quantes safates fa servir cada passatger. Es va veure que el més usual és utilitzar-ne dues, una per la maleta i l'altra pels objectes personals, com el mòbil, claus, cinturó, rellotge, etc. La resta de passatgers duien 1, 3 o 4, i es podia observar que sobretot els últims solien portar portàtil o aparells elèctrics, que cal posar-los a una safata extra. A continuació es mostren les dades:

Taula 16: Número de safates per passatger

2	2	2	1	2	2	2	1	2	2
1	3	1	2	2	2	2	1	1	4
2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
2	1	2	3	2	2	2	3	1	2
1	2	2	3	1	2	1	2	2	3

També es varen prendre dades del temps que tarda cada passatger en posar els seus objectes personals a les safates, depenent del nombre de safates que duguin, tal com veiem a la Taula 15.

Taula 17: Temps Posar Safata

temps	21	15	17	9	20	21	14	22	15	12	
safates	2	2	3	1	2	2	2	3	1	2	
mitja	10,50	7,50	5,67	9,00	10,00	10,50	7,00	7,33	15,00	6,00	8,85

Gràcies a aquestes dades veiem la mitja de temps per safata i decidim utilitzar la funció Random Discrete (5,10).

Per la seva part, es va fer el mateix amb el temps de revisió d'aquells passatgers que els pitava l'arc de seguretat. Com es veu a la Taula 17, gairebé totes les dades rondaven els 10 segons, algunes per dalt i altres per baix. És per això que decidim utilitzar la funció de distribució Random Discrete (9,15).

Taula 18: Temps Revisió Passatger

13	11	10	9	8	12	11	7	13	9	10,3
----	----	----	---	---	----	----	---	----	---	-------------

Per últim, es varen recollir també les estadístiques pel que fa a la freqüència de les alarmes:

- Alarma ADM → Aproximadament 1 de cada 10 pax.
- Repetir ADM → Aproximadament 1 de cada 10 pax dels que els sona l'alarma.
- Alarma RX → Aproximadament 1 de cada 50 pax.

Amb totes aquestes dades recollides, ja podem omplir la taula de les dades que necessitem per dur a terme el model.

Taula 19: Resultats dades necessàries

Passatgers/Hora	896
Freqüència d'arribada	1pax/4s
Temps procés	95,3
Temps revisió passatger	10,3
Temps per safata	8,85
Safates per passatger	1 – 10/50 2 – 31/50 3 – 7/50 4 – 2/50
% Alarma ADM	1/10
% Repetir ADM	1/10
% Alarma RX	1/50

3.5. Validació

Un cop finalitzat el model amb CPNTools, s'han dut a terme simulacions. Primerament per comprovar si era fiable o calia continuar fent millores, però sobretot per tal de valorar els resultats i poder extreure'n algunes reflexions, i veure si realment s'ajusten o no a la realitat.

S'ha decidit donar el model per vàlid degut a que tots els resultats són molt similars a les dades preses, amb un error acceptable. A continuació es mostren els resultats de les simulacions del model.

Taula 20: Dades Sistema Real

ARCS	1
CINTES	2
PASSATGERS	896
FREQÜÈNCIA D'ENTRADA	1pax/4s discrete(1,7)

Dades Sistema Real

Dades Model

Degut a la falta de dades s'ha fet servir la funció Random Discrete per determinar la freqüència d'arribada dels passatgers, en comptes d'una exponencial negativa o una Weibull.

Caldria fer un treball de camp més extens i tractar d'aproximar les arribades amb una exponencial negativa, que ens permetria obtenir dades més properes a les dades reals.

Taula 21: Validació Dades

ALARMA ADM	73	75	89	81	78		
<i>AlarmaADM/TotalPax(%)</i>	8,75	8,98	10,41	9,62	9,29	9,41	10%
REPETIR ADM	6	8	12	6	11		
<i>RepetirADM/AlarmaADM(%)</i>	8,22	10,67	13,48	7,41	14,10	10,78	10%
ALARMA MALETA	15	17	10	16	22		
<i>AlarmaMaleta/TotalPax(%)</i>	1,80	2,04	1,17	1,90	2,62	1,90	2%

Com es veu a la Taula 20, la freqüència de les alarmes és gairebé exacta a les dades que es varen prendre a l'Aeroport del Prat.

Ara observem a la Taula 21 on queden els passatgers quan s'atura la simulació al finalitzar l'hora. El total de passatgers que absorbeix el sistema és 890,8 (sent el nombre real molt proper, 896), i el nombre de persones que arriben a la sortida de la cinta són 841,2 (sent el nombre del sistema real també molt proper, 846). Evidentment, a conseqüència d'això, la mitja de passatgers que es queden a mig camí també és realment acertada (49,6 i 50).

Taula 22: Distribució Passatgers

Cua Deixar Safata	54	46	47	48	29	44,8	
Cua ADM	4	4	4	4	4	4	
Cua Recollir Safata	1	1	1	0	1	0,8	
Sortida	834	835	855	842	840	841,2	
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	893	886	907	894	874	890,8	896
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	834	835	855	842	840	841,2	846
PASSATGERS EN PROCÉS	59	51	52	52	34	49,6	50

A l'Annex 2 trobareu la taula amb els resultats de la simulació del sistema real, a partir de la qual s'extreuen aquestes conclusions mostrades a la Taula 22.

Taula 23: Comparacions de Temps

		MITJA TEMPS		
CAP ALARMA	81,36	84,75	1 MALETA	72,63
ALARMA ADM	110,68		2 MALETES	88,14
REPETIR ADM	94,00	90,1	3 MALETES	85,30
ALARMA MALETA	115,67		4 MALETES	114,78
ALARMA ADM+MALETA	130,00			

El temps mig d'un individu en creuar tot el filtre de seguretat és de 84,75 segons, i el real era 90,1, també una xifra relativament similar.

També s'han pogut fer estudis extres, com per exemple com és de diferent la mitja del temps si només tenim en compte:

- als passatgers que no els ha sonat l'alarma
- als passatgers que els ha sonat l'alarma de l'ADM
- als que els ha sonat l'alarma de la maleta
- als que els han sonat les dues
- als passatgers que duen una maleta
- als que en duen dos
- als que en duen tres
- als que en duen quatre

Pel que fa a les maletes, veiem que el temps és superior contra més maletes duen, i pel que fa a les alarmes també observem que els resultats són coherents, ja que la mitja de temps dels passatgers que no els ha sonat l'alarma (81,36) és inferior a la total (84,75) i les dels passatgers que els ha sonat alguna alarma són majors.

Per tot això, veiem que el model el podem donar per vàlid per realitzar l'estudi.

CAPÍTOL 4: ANÀLISI DE RESULTATS

4.1. Introducció

Després de validar el bon funcionament del Model, es duen a terme diferents simulacions per tal de veure diferents possibles escenaris d'aeroports amb filtres de seguretat de característiques similars a les de l'Aeroport del Prat.

D'aquesta manera, podrem veure quines combinacions d'arcs i cintes actius serien més adients segons la freqüència d'arribada de clients en cada moment.

4.2. Tests realitzats

Tal com hem comentat a l'explicació del Model, tenim sis experiments o Tests. Una vegada realitzat cada test, se'n fa una nova adaptant el flux o freqüència de passatgers per tal que els resultats siguin òptims. Si ens dona un resultat vàlid però creiem que podria ser més òptim, fem un tercer experiment amb una freqüència diferent per veure si és millor la segona o la tercera opció.

El valor que hem determinat com a referència per decidir si el resultat és acceptable o no és la quantitat de passatgers que romanen a la Cua de cada Cinta RX, prenent com un màxim de 10 passatgers un sistema acceptable.

A partir d'això, podem determinar que hi ha dos possibles motius per determinar que el sistema no és òptim:

1. Que el nombre de persones a la cua a l'acabar la simulació sigui superior a 10/cinta.
2. Que amb una altra freqüència d'entrada el nombre de persones que admet el sistema (arriben a la Sortida) sigui major.

4.2.1. Test 1

El primer test que es fa és el sistema creat amb les dades reals extretes de l'Aeroport del Prat.

El nombre d'Arcs actius és 1, amb les seves dues respectives cintes, i la mitja de la freqüència d'arribada dels passatgers és de 1 cada 4 segons.

Taula 24: Test 1

TEST 1	ARCS	1				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	54	46	47	48	29	44,8
Cua ADM	4	4	4	4	4	4
Cua Recollir Safata	1	1	1	0	1	0,8
Sortida	834	835	855	842	840	841,2
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	893	886	907	894	874	890,8
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	834	835	855	842	840	841,2
PASSATGERS EN PROCÉS	59	51	52	52	34	49,6
MITJA TEMPS	84,75				% EFECTIU	94,43
					MAX. CUA	22,40

Com s'aprecia a la Taula 24, hi ha més gent a la cua a l'acabar la simulació de la que podem acceptar per donar per vàlid el sistema. Per tant, reduïm la freqüència d'arribada a una mitja de 1 passatger cada 5 segons.

Taula 25: Test 1 II

TEST 1 II	ARCS	1				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/5s -> discrete(2,8)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	0	1	1	3	4	1,8
Cua ADM	2	3	3	4	4	3,2
Cua Recollir Safata	1	1	1	0	1	0,8
Sortida	708	709	741	713		717,75
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	711	714	746	720	9	723,55
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	708	709	741	713	0	717,75
PASSATGERS EN PROCÉS	3	5	5	7	9	5,8
					% EFECTIU	99,20
					MAX. CUA	0,90

Com s'aprecia a la Taula 25, el nombre de passatgers que romanen a la cua al finalitzar la simulació és de 0,90 de mitja. Com s'allunya molt del màxim permès, farem una tercera simulació amb un valor intermig en la mitja de la freqüència (cada 4,5s).

A la Taula 26 es mostren els resultats d'aquesta simulació i es pot observar que el nombre de passatgers que arriben a la sortida (787,8) és superior al del test II (717,75).

Taula 26: Test 1 III

TEST 1 III	ARCS	1				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/4,5s -> discrete(1,8)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	2	11	16	0	6	7
Cua ADM	4	4	4	2	4	3,6
Cua Recollir Safata	1	1	0	2	2	1,2
Sortida	776	776	803	791	793	787,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	783	792	823	795	805	799,6
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	776	776	803	791	793	787,8
PASSATGERS EN PROCÉS	7	16	20	4	12	11,8
					% EFECTIU	98,52
					MAX. CUA	3,50

Per tant, l'òptima serà la tercera simulació, és a dir, que la mitja de la freqüència ideal per un arc i dues cintes actius és de 1 passatger cada 4,5 segons.

4.2.2. Test 2

El segon test es fa amb només una cinta i un arc oberts.

Taula 27: Test 2

TEST 2	ARCS	1				
	CINTES	1				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	302	283	285	295	297	292,4
Cua ADM	2	2	2	2	2	2
Cua Recollir Safata	1	1	1	0	0	0,6
Sortida	440	455	460	440	445	448
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	745	741	748	737	744	743
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	440	455	460	440	445	448
PASSATGERS EN PROCÉS	305	286	288	297	299	295
MITJA TEMPS	149,79				% EFECTIU	60,30
					MAX. CUA	292,40

Com s'observa a la Taula 27, el nombre de passatgers que es queden a la cua és de 292,40 passatgers.

Per tant, fem una nova simulació amb una mitja de la freqüència d'arribada molt menor, de 1 passatger cada 8 segons. A la Taula 28 s'aprecia que en aquest cas el nombre de passatgers que queden a la cua a l'aturar la simulació es de 6,60.

Taula 28: Test 2 II

TEST 2 II	ARCS	1				
	CINTES	1				
	FREQ.	1pax/8s -> discrete(5,11)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	9	3	13	0	8	6,6
Cua ADM	2	2	2	2	2	2
Cua Recollir Safata	1	2	0	1	1	1
Sortida	440	444	434	444	446	441,6
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	452	451	449	447	457	451,2
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	440	444	434	444	446	441,6
PASSATGERS EN PROCÉS	12	7	15	3	11	9,6
					% EFECTIU	97,87
					MAX. CUA	6,60

Com en tots els casos, farem un tercer test per veure si trobem un resultat encara més òptim.

Taula 29: Test 2 III

TEST 2 III	ARCS	1				
	CINTES	1				
	FREQ.	1pax/7s -> discrete(4,10)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	52	59	57	36	51	51
Cua ADM	2	2	2	2	2	2
Cua Recollir Safata	1	1	0	0	0	0,4
Sortida	429	424	426	435	430	428,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	484	486	485	473	483	482,2
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	429	424	426	435	430	428,8
PASSATGERS EN PROCÉS	55	62	59	38	53	53,4
					% EFECTIU	88,93
					MAX. CUA	51,00

A la Taula 29 el que s'aprecia és que si augmentem la mitja de la freqüència de passatgers a 1pax/7s el nombre de passatgers d'entrada evidentment és major, però el de sortida no, i queden 51 a la cua al finalitzar la simulació. És un nombre molt per sobre dels 10 que hem adoptat com a màxim, així que veiem que la opció òptima és la segona en aquest cas.

Per tant, es determina que per a un arc amb només una cinta oberta, la mitja de freqüència òptima és de un passatger cada 8 segons de mitja.

4.3.3. Test 3

Taula 30: Test 3

TEST 3	ARCS	2				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	95	87	77	99	75	86,6
Cua ADM	3	3	3	2	3	2,8
Cua Recollir Safata	2	1	1	0	1	1
Sortida	752	753	775	742	762	756,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	852	844	856	843	841	847,2
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	752	753	775	742	762	756,8
PASSATGERS EN PROCÉS	100	91	81	101	79	90,4
MITJA TEMPS	50,77				% EFECTIU	89,33
					MAX. CUA	43,30

El tercer test és amb dos arcs i dues cintes disponibles (una per cada arc) i mitja de freqüència d'un passatger cada 4 segons. Com s'aprecia a la Taula 30, el nombre de passatgers a cada cua és molt superior a 10 (43,3).

Per tant, fem una segona simulació amb una mitja de freqüència menor, en aquest cas de 1 passatger cada 5 segons.

Taula 31: Test 3 II

TEST 3 II	ARCS	2				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/5s -> discrete(2,8)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	6	5	2	6	7	5,2
Cua ADM	3	3	3	4	4	3,4
Cua Recollir Safata	2	0	1	0	1	0,8
Sortida	711	706	706	690	694	701,4
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	722	714	712	700	706	710,8
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	711	706	706	690	694	701,4
PASSATGERS EN PROCÉS	11	8	6	10	12	9,4
					% EFECTIU	98,68
					MAX. CUA	2,60

Com s'aprecia a la Taula 31, el nombre de passatgers a cada cua ha disminuït a 2,6 i per tant, és un test acceptable.

Com sempre, per tal d'assegurar-nos de que sigui l'òptim, fem una tercera simulació amb una mitja de la freqüència d'arribada una mica menor (1pax/4,5s) per comprovar si el nombre de passatgers que abasteix el sistema és major.

Taula 32: Test 3 III

TEST 3 III	ARCS	2				
	CINTES	2				
	FREQ.	1pax/4,5s -> discrete(1,8)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	37	49	51	38	64	47,8
Cua ADM	4	4	3	3	2	3,2
Cua Recollir Safata	0	1	0	0	1	0,4
Sortida	710	718	712	723	708	714,2
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	751	772	766	764	775	765,6
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	710	718	712	723	708	714,2
PASSATGERS EN PROCÉS	41	54	54	41	67	51,4
					% EFECTIU	93,29
					MAX. CUA	23,90

Com es veu a la Taula 32, ho és (714,2>701,4), però el nombre de passatgers que queden a cada cua és de 23,90, molt superior al màxim de 10. Per tant, es determina que el test òptim és el II. A més, els resultats rondan el doble del test 2 II, com era d'esperar, ja que es podria dir que es el mateix sistema per duplicat i l'únic que els diferencia és la distància a recórrer entre l'Entrada i les cintes del primer ADM i les del segon, que és major.

4.3.4. Test 4

En aquest test el nombre d'arcs actius és de 2, amb les dues cintes de cadascun d'ells també activades.

Taula 33: Test 4

TEST 4	ARCS	2				
	CINTES	4				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	0	0	1	3	0	0,8
Cua ADM	6	5	3	5	5	4,8
Cua Recollir Safata	1	0	2	0	0	0,6
Sortida	918	888	886	900	889	896,2
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	925	893	892	908	894	902,4
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	918	888	886	900	889	896,2
PASSATGERS EN PROCÉS	7	5	6	8	5	6,2
MITJA TEMPS	37,72				% EFECTIU	99,31
					MAX. CUA	0,20

A la Taula 33 podem observar que el sistema abasteix de sobres la mitja de freqüència d'entrada tractada, així que fem una segona simulació amb una superior, en aquest cas de 1pax/3s.

Taula 34: Test 4 II

TEST 4 II	ARCS	2				
	CINTES	4				
	FREQ.	1pax/3s -> discrete(1,5)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	5	2	2	1	1	2,2
Cua ADM	6	4	4	7	6	5,4
Cua Recollir Safata	1	0	1	2	1	1
Sortida	1205	1175	1200	1163	1214	1191,4
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	1217	1181	1207	1173	1222	1200
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	1205	1175	1200	1163	1214	1191,4
PASSATGERS EN PROCÉS	12	6	7	10	8	8,6
					% EFECTIU	99,28
					MAX. CUA	0,55

En aquest segon test el nombre de passatgers que finalitzen el procés augmenta de 896,2 a 1191,4. Però, la mitja de passatgers que romanen a les cues de cada cinta continua sent molt baixa, així que fem una tercera simulació per veure si trobem una solució més acurada.

Taula 35: Test 4 III

TEST 4 III	ARCS	2				
	CINTES	4				
	FREQ.	1pax/2,5s -> discrete(1,4)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	58	74	58	65	57	62,4
Cua ADM	5	5	8	8	7	6,6
Cua Recollir Safata	1	3	0	1	2	1,4
Sortida	1391	1376	1382	1380	1377	1381,2
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	1455	1458	1448	1454	1443	1451,6
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	1391	1376	1382	1380	1377	1381,2
PASSATGERS EN PROCÉS	64	82	66	74	66	70,4
					% EFECTIU	95,15
					MAX. CUA	15,60

A la Taula 35, veiem que el nombre de passatgers continua augmentant fins a 1381 al augmentar a 1pax/3s la mitja de la freqüència d'entrada. Però, la mitja de persones a cada cua al finalitzar la simulació és superior a 10, així que la opció òptima per a un sistema amb dos arcs i quatre cintes és la del Test 4 II, amb una mitja de freqüència de 1 passatger cada 3 segons.

4.3.5. Test 5

El test 5 tracta el sistema en cas que tots els arcs i les cintes estiguin actius.

Taula 36: Test 5

TEST 5	ARCS	3				
	CINTES	6				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	2	2	1	1	1	1,4
Cua ADM	5	2	5	5	4	4,2
Cua Recollir Safata	0	2	1	1	0	0,8
Sortida	205	886	881	896	903	754,2
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	212	892	888	903	908	760,6
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	205	886	881	896	903	754,2
PASSATGERS EN PROCÉS	7	6	7	7	5	6,4
MITJA TEMPS	38,46				% EFECTIU	99,16
					MAX. CUA	0,23

A la taula de resultats veiem que en aquesta situació el sistema absorbeix amb comoditat el trànsit de passatgers indicat. Procedim a fer una segona simulació canviant la mitja de la freqüència d'arribada de passatgers a 1 passatger cada 2 segons.

Taula 37: Test 5 II

TEST 5 II	ARCS	3				
	CINTES	6				
	FREQ.	1pax/2s -> discrete(1,3)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	10	3	3	5	4	5
Cua ADM	8	11	7	8	10	8,8
Cua Recollir Safata	3	3	1	3	1	2,2
Sortida	1793	1782	1766	1761	1792	1778,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	1814	1799	1777	1777	1807	1794,8
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	1793	1782	1766	1761	1792	1778,8
PASSATGERS EN PROCÉS	21	17	11	16	15	16
					% EFECTIU	99,11
					MAX. CUA	0,83

En aquesta situació, el nombre de passatgers augmenta de 754,2 a 1778,8, més del doble. Tot i així, el nombre de persones que romanen a cada cua continua sent molt menor que 10, el que ens indica que la freqüència pot seguir sent petita.

Fem una última simulació amb una mitja de freqüència d'arribada de 1 passatger cada 1,5s. S'observa que el nombre de passatgers que finalitzen el procés augmenta de 1778,8 a 1934. Però, una mitja de 68,83 queden a cada cua al

finalitzar la simulació, un valor molt per sobre del màxim que acceptem com a vàlid.

Taula 38: Test 5 III

TEST 5 III	ARCS	3				
	CINTES	6				
	FREQ.	1pax/1,5s -> discrete(1,2)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	409	433	428	414	411	419
Cua ADM	9	12	11	9	8	9,8
Cua Recollir Safata	3	4	2	4	2	3
Sortida	1970	1956	1982	1797	1965	1934
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	2391	2405	2423	2224	2386	2365,8
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	1970	1956	1982	1797	1965	1934
PASSATGERS EN PROCÉS	421	449	441	427	421	431,8
					% EFECTIU	81,75
					MAX. CUA	69,83

Per tant, la opció òptima per a un sistema amb 3 arcs i 6 cintes és la que té la mitja de freqüència d'arribada de 1 passatger cada 2 segons.

4.3.6. Test 6

L'últim test consta dels 3 arcs oberts, però amb només una de les seves cintes obertes cadascun d'ells. Com veiem a la Taula 39, el nombre de passatgers a la cua és bastant inferior a 10, així que fem una altra simulació per comprovar si el sistema està infrautilitzat amb aquesta freqüència d'arribada.

Taula 39: Test 6

TEST 6	ARCS	3				
	CINTES	3				
	FREQ.	1pax/4s -> discrete(1,7)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	3	3	6	8	3	4,6
Cua ADM	4	4	4	4	5	4,2
Cua Recollir Safata	0	3	1	1	2	1,4
Sortida	846	838	881	886	878	865,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	853	848	892	899	888	876
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	846	838	881	886	878	865,8
PASSATGERS EN PROCÉS	7	10	11	13	10	10,2
MITJA TEMPS	47,56				% EFECTIU	98,84
					MAX. CUA	1,53

Taula 40: Test 6 II

TEST 6 II	ARCS	3				
	CINTES	3				
	FREQ.	1pax/3,5s -> discrete(1,6)				
						MITJA
Cua Deixar Safata	72	56	38	63	56	57
Cua ADM	4	4	4	3	4	3,8
Cua Recollir Safata	0	0	1	3	1	1
Sortida	912	925	925	940	942	928,8
TOTAL PASSATGERS ENTRADA	988	985	968	1009	1003	990,6
TOTAL PASSATGERS SORTIDA	912	925	925	940	942	928,8
PASSATGERS EN PROCÉS	76	60	43	69	61	61,8
					% EFECTIU	93,76
					MAX. CUA	19,00

Provem amb una mitja de la freqüència de 1 passatger cada 4 segons i veiem que el nombre de passatgers que finalitzen el procés augmenta, però els que queden a cada cua són 19. Per tant, veiem que la opció òptima és la primera.

CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR

Conclusions

El procés del filtre de seguretat dels aeroports és un dels que més molèsties suposa pels passatgers. Per una banda, l'inconvenient d'haver de desfer-se de tots els objectes personals (cinturons, claus, telèfons, botes...) per passar per l'arc.

Per altra banda, les cues que es formen de vegades a causa de la sobresaturació del filtre en alguns moments, provoca un retard en el procés que fa que els passatgers hagin d'estar a l'aeroport amb molta més antelació per tal de no córrer el risc de perdre el vol.

Degut a la impossibilitat de l'obtenció del permís per extreure les dades de l'Aeroport del Prat (escenari A, risc 1) i, posteriorment, a la dificultat de trobar dades suficients dels aeroports en qüestió (escenari B, risc 2) s'ha hagut d'optar per l'escenari C. Degut a això, es va perdre molt de temps i no es va poder seguir la planificació temporal plantejada a l'inici del projecte.

Malgrat això, finalment ens vam aconseguir adaptar a les circumstàncies i treure endavant tant bé com es podia el projecte en les circumstàncies en les que ens vàrem veure endinsats.

Respecte la valoració dels objectius, l'objectiu principal (OP) del projecte era fer un model genèric amb xarxes de petri acolorides, en el que es poguïn variar el nombre de cintes i d'arcs del control de seguretat i analitzar les diferents solucions per extreure'n conclusions.

Tant l'objectiu principal (OP) com els secundaris (OS) s'han assolit la gran majoria, exceptuant alguns punts:

- OS1: està aconseguit a mitges, ja que es podria haver dut a terme una millor recollida de dades.
- OS5: no era un objectiu primordial, però només s'han pogut comparar amb l'Aeroport del Prat i hauria sigut ideal poder-ho fer amb més aeroports de filtres de seguretat amb característiques similars.

Pel que fa als resultats obtinguts, és interessant veure les opcions vàlides per a les diferents freqüències mitjanes de passatgers. Així, qualsevol aeroport amb un filtre de seguretat d'aquestes característiques podria utilitzar els resultats

obtinguts per tal de poder obrir i tancar arcs i les cintes segons la freqüència d'arribada esperada en cada moment.

Un cop realitzats els tests de diferents escenaris de simulació, es veu que amb les dades preses al filtre de seguretat de la T1 de l'Aeroport del Prat un dia feiner de 20h a 21h, la freqüència d'entrada que teníem a les dades inicials, és la ideal per a un sistema amb 3 arcs i 3 cintes actives (una de cada arc).

A títol personal, ha estat un plaer poder treballar en un tema que em despertava interès des d'un inici. També el fet de poder millorar la idea d'un model que vàrem treballar a classe el curs passat i haver pogut adaptar-lo a un sistema real i extreure'n conclusions.

Treball Futur

Pel que fa a opcions de treball futur, caldria fer un treball de camp més extens i tractar d'aproximar les arribades amb una exponencial negativa, que ens permetria obtenir dades més properes a les dades reals.

Una altra tasca a realitzar seria recollir les dades de passatgers de sortida de diferents aeroports amb el Procés de Control de Seguretat com el tractat, així com la distribució d'aquests entre les diferents zones de filtres. Així, es podria veure quants filtres han d'estar oberts en cada moment, així com quants arcs i cintes de cada filtre activar o desactivar, segons la freqüència d'entrada de passatgers esperada.

Per finalitzar, una tercera proposta de treball per a desenvolupar en un futur seria adaptar el model a altres tipus de Processos de Filtre de Seguretat, per tal d'ampliar les possibilitats del programa en quant a extreure conclusions per als aeroports que ho precisin.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I ENLLAÇOS

- 1 Anglí Pineda, Joaquim; Buil, Roman: *Models causals en xarxes de petri acolorides*. Treball de fi de Grau. Barcelona, Juliol de 2013.
- 2 Guash, A.; Piera, M. Angel.; Casanoves, J.; Figueres, J.: *Modelatge i simulació: aplicació a processos logístics de fabricació i serveis*. Edicions UPC.
- 3 Jensen, Kurt; Kristensen, Lars M.: *Coloured Petri Nets. Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Dordrecht:Springer, 2009.
- 4 Robayna Fernández, Ernesto: *Proceso de facturación y paso por filtros en LEPA-PMI*. Treball de fi de M ster. Barcelona, Novembre de 2008.
- 5 Roman Buil: "*Bloc 1: Modelat de sistemes orientat a events discrets*". Material del curs "Modelització i Simulació de Sistemes", 101743. Barcelona, 2015.
- 6 Roman Buil: "*Bloc 6: Modelat de sistemes orientat a events discrets*". Material del curs "Modelització i Simulació de Sistemes", 101743. Barcelona, 2015.

ENLLAÇOS:

- ❖ Programari Xarxes de Petri:

<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick.html>

- ❖ CPNTools:

<http://cpntools.org/>

- ❖ Artículos Prohibidos en Aeronaves – Normativa europea sobre seguridad a rea:

<http://www.aena.es/csee/ccurl/781/250/Art%20Proh%20Castellano%20enero%202014.pdf>

- ❖ Aeroport de Barcelona – Equipatge perm s:

http://www.aeropuertobarcelona-elprat.com/cat/objetos_prohibidos_1070.htm

ANNEXOS

Annex 1

14/04/2015

Estimat/da,

El meu nom és Sònia Arizmendi Valdor, i sóc alumna de quart del Grau en Gestió Aeronàutica de la Universitat Autònoma de Barcelona. Els filtres de seguretat solen ser el problema més notori pels clients d'un aeroport (cues, registres...). És per això que estic fent el treball de fi de Grau sobre un Estudi i posterior Modelatge i Simulació amb la metodologia de CPN Tools i les xarxes de petri acolorides, sobre el Control del Filtre de Seguretat de l'Aeroport del Prat. Per intentar reproduir el sistema real tant com sigui possible, necessitaria dades que no existeixen a la xarxa, com:

- Número de passatgers per hora
- Perfil d'aquests passatgers
- Temps que tarden en realitzar el procés
- Vegades que satura la cinta
- Vegades que pita l'arc de seguretat

Em dirigeixo a vostès per formalitzar la petició de poder accedir a les instal·lacions de l'Aeroport del Prat un dia per poder realitzar el que seria el treball de camp del meu TFG: la recol·lecta de totes aquestes dades, si fos possible. Cal dir que l'ús d'aquestes dades seria estrictament acadèmic i si calgués firmaria qualsevol acord de confidencialitat. També, que si un cop realitzat el treball trobem alguna conclusió que pugui interessar-li a l'aeroport, podríem facilitar-vos-la sense cap problema. Poso en còpia al meu tutor del Treball de Final de Grau, per a mantenir-lo informat.

Atentament,
Sònia Arizmendi Valdor
Universitat Autònoma de Barcelona

15/04/2015

Benvolguda Senyora Arizmendi:

En resposta al seu correu de data 14 d'abril, l'informem que la seva sol·licitud ha de fer-se mitjançant una carta del seu tutor acadèmic, amb la seva firma i segell de la Institució Acadèmica, sol·licitant el permís de visita, confirmant que vostè hi està estudiant i comproment-se a que tota la informació que pugui obtenir d'aquest aeroport romandrà confidencial i s'utilitzarà únicament amb finalitats acadèmiques.

Un cop hàgim rebut aquest document, la posarem en contacte amb el departament corresponent perquè el puguin informar.

Per a qualsevol altra consulta, pot tornar a contactar amb nosaltres. Si ho desitja, pot visitar també la nostra pàgina web: www.aena.es

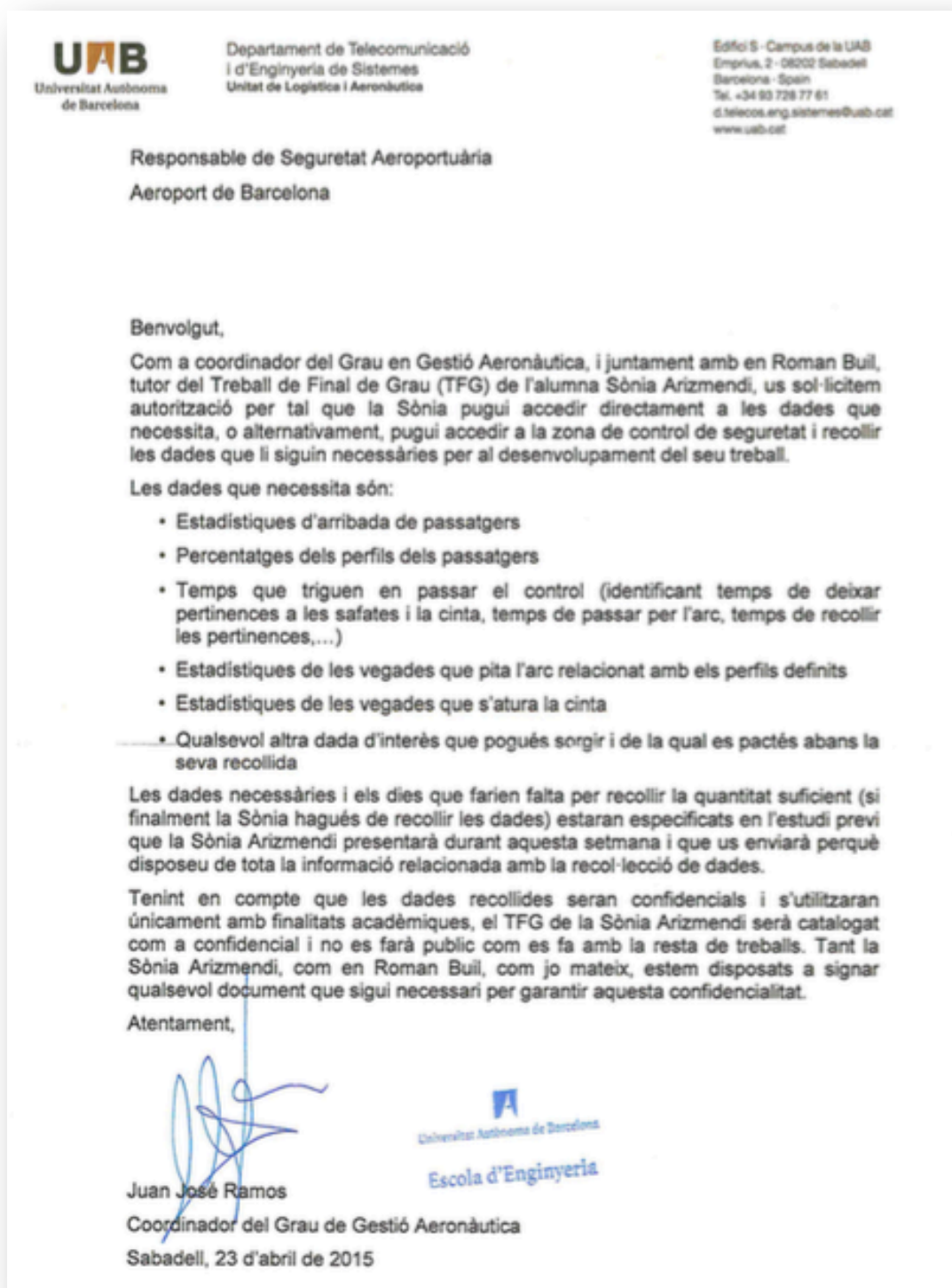
Atentament,
Oficina d'Informació de l'Aeroport de Barcelona-el Prat.

24/04/2015

Estimat/da,

Ja tinc la carta escrita i firmada pel cap del meu Grau i pel meu tutor del treball. Em podríeu dir com preferiu que us la faci arribar?

Moltes gràcies,
Sònia Arizmendi.



Il·lustració 5: Carta dirigida a l'Aeroport de Barcelona

27/04/2015

En resposta al seu correu de data 24 d'abril, l'informem que ha de remetre la seva carta a aquesta mateixa adreça electrònica.

Un cop hàgim rebut aquest document, la posarem en contacte amb el departament corresponent perquè el puguin informar .

Per a qualsevol altra consulta, pot tornar a contactar amb nosaltres.

Si ho desitja, pot visitar també la nostra pàgina web: www.aena.es

Atentament,

Oficina d'Informació de l'Aeroport de Barcelona-el Prat.

20/05/2015

Bon dia. En resposta a la vostra sol·licitud d'informació de data 14 d'abril de 2015, agraïm l'interès que mostra per el nostre aeroport, les seves instal·lacions i funcionament. Respecte al perfil del passatger, adjunt trobareu informació del vostre interès corresponent al 2014. Pel que fa a la resta de punts, ens agradaria poder ajudar-vos, però lamentablement es tracta d'informació que està més enllà del punt crític de confidencialitat, i per aquesta raó no està permesa la seva divulgació. És molt possible que li sigui d'ajuda la nostra pàgina web així com el link d'estadístiques (passatgers, operacions i mercaderies):

<http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

Atentament,

División Seguridad Aeroportuaria

Annex 2

Taula 41: Resultats Simulació (Temps)

safates	alarma ADM	repetir ADM	alarma RX	temps procés
1	0	0	0	18
1	0	0	0	19
1	0	0	0	20
1	0	0	0	21
1	0	0	0	22
1	0	0	0	22
1	0	0	0	23
1	0	0	0	23
1	0	0	0	24
1	0	0	0	25
1	0	0	0	25
1	0	0	0	25
1	0	0	0	25
1	0	0	0	26
1	0	0	0	26
1	0	0	0	28
1	0	0	0	28
1	0	0	0	29
1	0	0	0	30
1	0	0	0	31
1	0	0	0	31
1	0	0	0	32
1	0	0	0	32
1	0	0	0	32
1	0	0	0	33
1	0	0	0	33
1	0	0	0	33
1	0	0	0	33
1	0	0	0	33
1	0	0	0	33
1	0	0	0	34
1	0	0	0	35
1	0	0	0	36
1	0	0	0	36
1	0	0	0	36
1	0	0	0	36
1	0	0	0	37
1	0	0	0	37

1	0	0	0	37
1	0	0	0	37
1	0	0	0	37
1	0	0	0	39
1	0	0	0	39
1	0	0	0	39
1	0	0	0	40
1	0	0	0	41
1	0	0	0	44
1	0	0	0	46
1	0	0	0	47
1	0	0	0	48
1	0	0	0	48
1	0	0	0	49
1	0	0	0	49
1	0	0	0	51
1	0	0	0	51
1	0	0	0	52
1	0	0	0	52
1	0	0	0	54
1	0	0	0	56
1	0	0	0	57
1	0	0	0	58
1	0	0	0	60
1	0	0	0	62
1	0	0	0	62
1	0	0	0	65
1	0	0	0	65
1	0	0	0	66
1	0	0	0	67
1	0	0	0	70
1	0	0	0	70
1	0	0	0	72
1	0	0	0	75
1	0	0	0	77
1	0	0	0	79
1	0	0	0	87
1	0	0	0	88
1	0	0	0	90
1	0	0	0	90
1	0	0	0	90
1	0	0	0	92
1	0	0	0	99

1	0	0	0	103
1	0	0	0	115
1	0	0	0	120
1	0	0	0	135
1	0	0	0	138
1	0	0	0	139
1	0	0	0	145
1	0	0	0	145
1	0	0	0	154
1	0	0	0	158
1	0	0	0	160
1	0	0	0	173
1	0	0	0	188
1	0	0	0	208
1	0	0	0	281
1	0	0	0	297
1	0	0	0	315
1	0	0	0	126
1	0	0	0	136
1	1	0	0	40
1	1	0	0	52
1	1	0	0	55
1	1	0	0	73
1	1	0	0	83
1	1	0	0	95
1	1	0	0	109
1	1	0	0	129
1	1	0	0	143
1	1	0	0	154
1	1	1	0	57
1	1	1	0	210
2	0	0	0	25
2	0	0	0	26
2	0	0	0	26
2	0	0	0	27
2	0	0	0	28
2	0	0	0	28
2	0	0	0	29
2	0	0	0	30
2	0	0	0	30
2	0	0	0	30
2	0	0	0	30
2	0	0	0	31

2	0	0	0	32
2	0	0	0	32
2	0	0	0	33
2	0	0	0	33
2	0	0	0	33
2	0	0	0	34
2	0	0	0	34
2	0	0	0	35
2	0	0	0	35
2	0	0	0	35
2	0	0	0	35
2	0	0	0	36
2	0	0	0	36
2	0	0	0	36
2	0	0	0	36
2	0	0	0	36
2	0	0	0	36
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	37
2	0	0	0	38
2	0	0	0	38
2	0	0	0	38
2	0	0	0	38
2	0	0	0	39
2	0	0	0	39
2	0	0	0	39
2	0	0	0	39
2	0	0	0	39
2	0	0	0	41
2	0	0	0	41
2	0	0	0	41
2	0	0	0	41
2	0	0	0	41
2	0	0	0	41

2	0	0	0	42
2	0	0	0	42
2	0	0	0	42
2	0	0	0	42
2	0	0	0	42
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	43
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	44
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	45
2	0	0	0	46
2	0	0	0	46
2	0	0	0	46
2	0	0	0	47
2	0	0	0	48
2	0	0	0	48
2	0	0	0	48
2	0	0	0	48
2	0	0	0	49
2	0	0	0	49
2	0	0	0	49
2	0	0	0	49
2	0	0	0	50
2	0	0	0	50
2	0	0	0	50
2	0	0	0	51

2	0	0	0	51
2	0	0	0	52
2	0	0	0	52
2	0	0	0	52
2	0	0	0	53
2	0	0	0	53
2	0	0	0	54
2	0	0	0	54
2	0	0	0	54
2	0	0	0	54
2	0	0	0	54
2	0	0	0	55
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	56
2	0	0	0	57
2	0	0	0	57
2	0	0	0	58
2	0	0	0	58
2	0	0	0	59
2	0	0	0	59
2	0	0	0	60
2	0	0	0	60
2	0	0	0	61
2	0	0	0	61
2	0	0	0	61
2	0	0	0	61
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	62
2	0	0	0	63
2	0	0	0	63
2	0	0	0	63

2	0	0	0	63
2	0	0	0	63
2	0	0	0	63
2	0	0	0	64
2	0	0	0	64
2	0	0	0	64
2	0	0	0	64
2	0	0	0	66
2	0	0	0	66
2	0	0	0	67
2	0	0	0	67
2	0	0	0	67
2	0	0	0	67
2	0	0	0	67
2	0	0	0	68
2	0	0	0	71
2	0	0	0	71
2	0	0	0	73
2	0	0	0	75
2	0	0	0	75
2	0	0	0	76
2	0	0	0	76
2	0	0	0	76
2	0	0	0	76
2	0	0	0	78
2	0	0	0	78
2	0	0	0	78
2	0	0	0	79
2	0	0	0	80
2	0	0	0	81
2	0	0	0	81
2	0	0	0	82
2	0	0	0	82
2	0	0	0	82
2	0	0	0	83
2	0	0	0	84
2	0	0	0	86
2	0	0	0	87
2	0	0	0	88
2	0	0	0	88
2	0	0	0	88
2	0	0	0	88
2	0	0	0	89
2	0	0	0	90

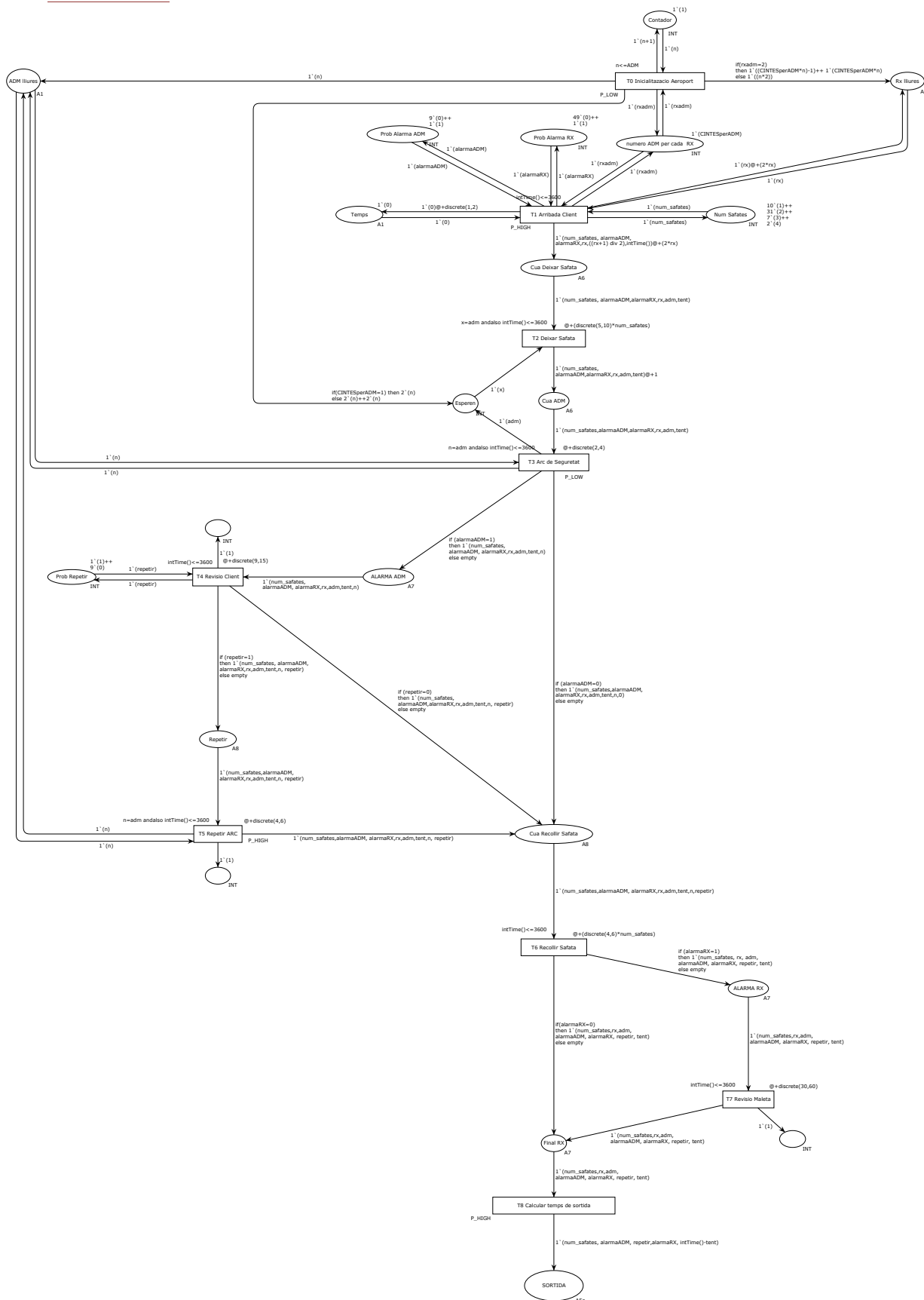
2	0	0	0	90
2	0	0	0	91
2	0	0	0	92
2	0	0	0	92
2	0	0	0	93
2	0	0	0	93
2	0	0	0	94
2	0	0	0	95
2	0	0	0	95
2	0	0	0	95
2	0	0	0	96
2	0	0	0	97
2	0	0	0	97
2	0	0	0	99
2	0	0	0	100
2	0	0	0	100
2	0	0	0	101
2	0	0	0	104
2	0	0	0	105
2	0	0	0	109
2	0	0	0	110
2	0	0	0	110
2	0	0	0	110
2	0	0	0	112
2	0	0	0	112
2	0	0	0	113
2	0	0	0	114
2	0	0	0	115
2	0	0	0	119
2	0	0	0	119
2	0	0	0	123
2	0	0	0	124
2	0	0	0	125
2	0	0	0	125
2	0	0	0	126
2	0	0	0	127
2	0	0	0	128
2	0	0	0	129
2	0	0	0	130
2	0	0	0	132
2	0	0	0	138
2	0	0	0	138
2	0	0	0	141

2	0	0	0	143
2	0	0	0	149
2	0	0	0	149
2	0	0	0	150
2	0	0	0	153
2	0	0	0	154
2	0	0	0	154
2	0	0	0	155
2	0	0	0	159
2	0	0	0	162
2	0	0	0	165
2	0	0	0	167
2	0	0	0	167
2	0	0	0	168
2	0	0	0	169
2	0	0	0	171
2	0	0	0	172
2	0	0	0	172
2	0	0	0	172
2	0	0	0	174
2	0	0	0	178
2	0	0	0	180
2	0	0	0	183
2	0	0	0	192
2	0	0	0	197
2	0	0	0	199
2	0	0	0	202
2	0	0	0	204
2	0	0	0	208
2	0	0	0	212
2	0	0	0	214
2	0	0	0	222
2	0	0	0	232
2	0	0	0	243
2	0	0	0	262
2	0	0	0	263
2	0	0	0	275
2	0	0	0	290
2	0	0	0	402
2	0	0	0	474
2	0	0	1	77
2	0	0	1	106
2	0	0	1	106

2	0	0	1	129
2	0	0	1	228
2	1	0	0	40
2	1	0	0	46
2	1	0	0	50
2	1	0	0	50
2	1	0	0	52
2	1	0	0	56
2	1	0	0	56
2	1	0	0	58
2	1	0	0	59
2	1	0	0	68
2	1	0	0	70
2	1	0	0	72
2	1	0	0	73
2	1	0	0	73
2	1	0	0	78
2	1	0	0	81
2	1	0	0	83
2	1	0	0	105
2	1	0	0	111
2	1	0	0	112
2	1	0	0	129
2	1	0	0	146
2	1	0	0	165
2	1	0	0	186
2	1	0	0	187
2	1	0	0	201
2	1	0	0	221
2	1	0	0	231
2	1	0	0	238
2	1	0	0	290
2	1	0	1	130
2	1	0	1	166
2	1	1	0	81
2	1	1	0	102
3	0	0	0	39
3	0	0	0	41
3	0	0	0	43
3	0	0	0	48
3	0	0	0	54
3	0	0	0	55
3	0	0	0	56

3	0	0	0	61
3	0	0	0	62
3	0	0	0	62
3	0	0	0	63
3	0	0	0	64
3	0	0	0	65
3	0	0	0	66
3	0	0	0	68
3	0	0	0	70
3	0	0	0	72
3	0	0	0	72
3	0	0	0	73
3	0	0	0	73
3	0	0	0	73
3	0	0	0	84
3	0	0	0	84
3	0	0	0	85
3	0	0	0	92
3	0	0	0	94
3	0	0	0	96
3	0	0	0	97
3	0	0	0	102
3	0	0	0	103
3	0	0	0	119
3	0	0	0	144
3	0	0	0	151
3	0	0	0	167
3	0	0	0	179
3	0	0	0	194
3	0	0	1	88
3	0	0	1	93
3	0	0	1	111
4	0	0	0	62
4	0	0	0	64
4	0	0	0	76
4	0	0	0	79
4	0	0	0	95
4	0	0	0	106
4	0	0	0	112
4	0	0	0	174
4	0	0	0	265
				84,75

Annex 3



II-lustració 6: Xarxa de Petri Acolorida

Sònia Arizmendi Valdor

Universitat Autònoma de Barcelona

Juliol de 2015

